AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wentylacja wybranych obiektów podziemnych

Wykład 2
Wentylacja tuneli w fazie drążenia

Prof. dr hab. inż. Stanisław Nawrat
Mgr inż. Sebastian Napieraj
Mgr inż. Natalia Schmidt - Polończyk

rok akademicki: 2015/2016, semestr zimowy

Wymagania Prawne

Według Art. 2. 1. Ustawy 981 z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. Nr 163, poz. 981) przepisom Prawa geologicznego i górniczego podlegają **drążone tunele z zastosowaniem techniki górniczej oraz ich likwidacja.**

Zagrożenia naturalne i technologiczne w czasie drążenia tuneli

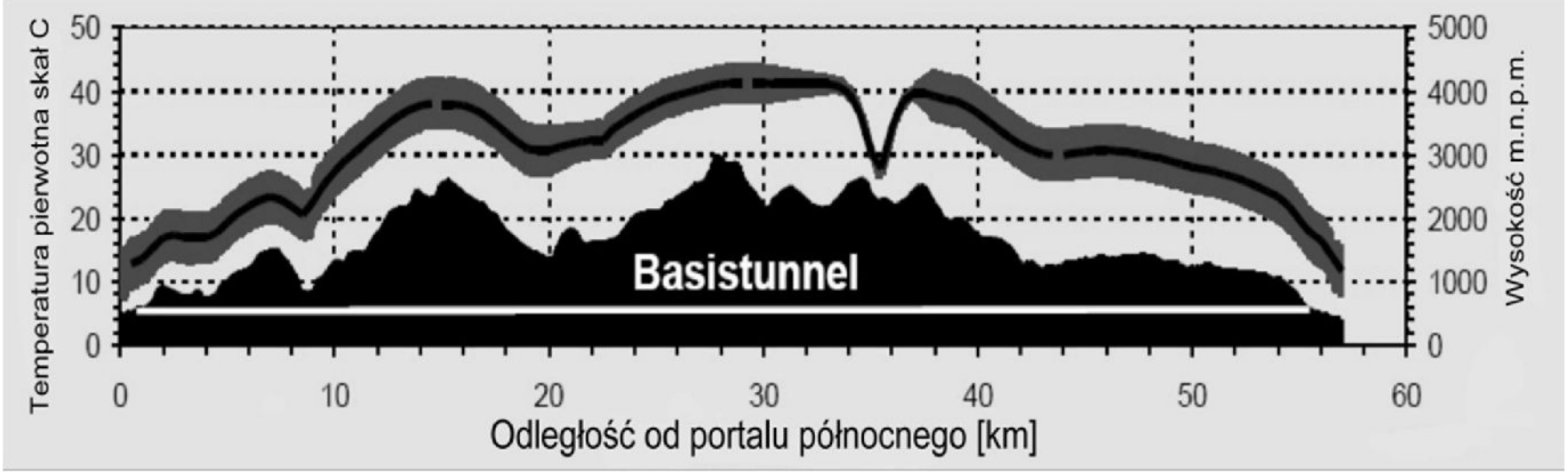
zagrożenia naturalne, m.in.:

- dopływy gazów z górotworu (metan, dwutlenek węgla),
- dopływy wody,
- trzęsienia ziemi,
- cieplne,

zagrożenia techniczno-technologiczne, m.in.:

- gazy odstrzałowe pochodzące z gazów odstrzałowych (tlenek węgla, tlenki azotu),
- zanieczyszczenia stale i gazowe emitowane przez silniki spalinowe urządzeń technicznych (tlenek węgla, tlenek azotu, sadza),
- zapylenie powietrza spowodowane procesami urabiania i transportu skały.

Zagrożenie cieplne



Rysunek. Rozkład temperatury pierwotnej górotworu w tunelu Gotthard Base Tunnel.

źródło: Zbinden P, 2002

Zadania wentylacji tuneli w fazie drążenia



- ✓ zapewnienie odpowiedniej wymiany powietrza,
- ✓ utrzymanie stężeń szkodliwych zanieczyszczeń na dopuszczalnym poziomie,
- ✓ odprowadzanie ciepła wydzielanego m.in. przez zainstalowane w tunelu pojazdy
- ✓ umożliwienie bezpiecznej ewakuacji ludzi z tunelu oraz sprawne ugaszenie pożaru.

Drążenie Tuneli

Zanieczyszczeniami powietrza w tunelu w fazie drążenia mogą być:

- ✓ **pyły i gazy spowodowane wierceniem, załadunkiem i transportem urobku oraz natryskiem betonu,**
- ✓ **spaliny i dymy emitowane przez pojazdy z silnikiem diesla,**
- ✓ **gazy postrzałowe zawierające znaczne ilości głównie dwutlenku węgla, tlenku węgla i tlenków azotu,**
- ✓ **gazy wydzielane z górotworu, najczęściej dwutlenek węgla lub metanu.**

Wymagania Prawne

Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r.
(Dz.U. Nr 163, poz. 981)

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U.02.139.1169)

Wymagania Prawne

§187.1. Ilość powietrza doprowadzana do wyrobisk powinna zapewniać utrzymanie w tych wyrobiskach wymaganego składu powietrza i jego temperatury.

2. Wszystkie dostępne wyrobiska i pomieszczenia przewietrza się w taki sposób, aby zawartość tlenu w powietrzu nie była mniejsza niż 19% (objętościowo), a najwyższe dopuszczalne stężenia gazów w powietrzu nie przekraczały wartości określonych w tabeli:

Rodzaj gazu	NDS mg/m^3 (objętościowo i %)	NDSCh mg/m^3 (objętościowo i %)
Dwutlenek węgla	- (1,0)	- (1,0)
Tlenek węgla	30 (0,0026)	180 (0,015)
Tlenek azotu	5 (0,00026)	10 (0,00052)
Dwutlenek siarki	2 (0,000075)	5 (0,00019)
Siarkowodór	10 (0,0007)	20 (0,0014)

Wymagania Prawne

4. W zakładach górniczych stosujących maszyny z napędem spalinowym zawartość tlenków azotu określa się na podstawie stężenia dwutlenku azotu.

§ 188. W przypadku stwierdzenia, że skład powietrza nie odpowiada wymaganiom określonym w § 187 ust. 2, niezwłocznie wycofuje się ludzi, a wejście do zagrożonego wyrobiska zabezpiecza się. W miejscach tych wykonuje się wyłącznie prace z zakresu ratownictwa górniczego i przeciwpożarowego.

§ 223**.** 2. Lutniociągi powinny być wykonywane z lutni metalowych lub trudno palnych antyelektrostatycznych lutni z tworzyw sztucznych.

Wymagania Prawne

3. Wyrobiska można przewietrzać pomocniczymi urządzeniami wentylacyjnymi, jeżeli długość tych wyrobisk nie jest większa niż:

1) w polach niemetanowych i polach zaliczonych do I kategorii zagrożenia metanowego:

a) 15 m – przy nachyleniach do 10° (we wzniosie i upadzie),

b) 10 m – przy nachyleniach powyżej 10° (we wzniosie i upadzie),

§ 228. 1. Prędkość prądu powietrza w wyrobisku przewietrzanym z użyciem lutniociągu powinna wynosić co najmniej w polach:

1). niemetanowych i I kategorii zagrożenia metanowego – 0,15 m/s,

2). W drążonym wyrobisku o przekroju poprzecznym w wyłomie ponad 20 m^2 przewietrzanym z użyciem lutniociągu prędkość powietrza może być mniejsza niż określona w ust. 1, jeżeli zapewnione jest utrzymanie dopuszczalnych zawartości gazów oraz właściwych warunków klimatycznych.

Wentylacji w fazie drążenia

Przewietrzanie tuneli w fazie drążenia może być stosowane za pomocą:

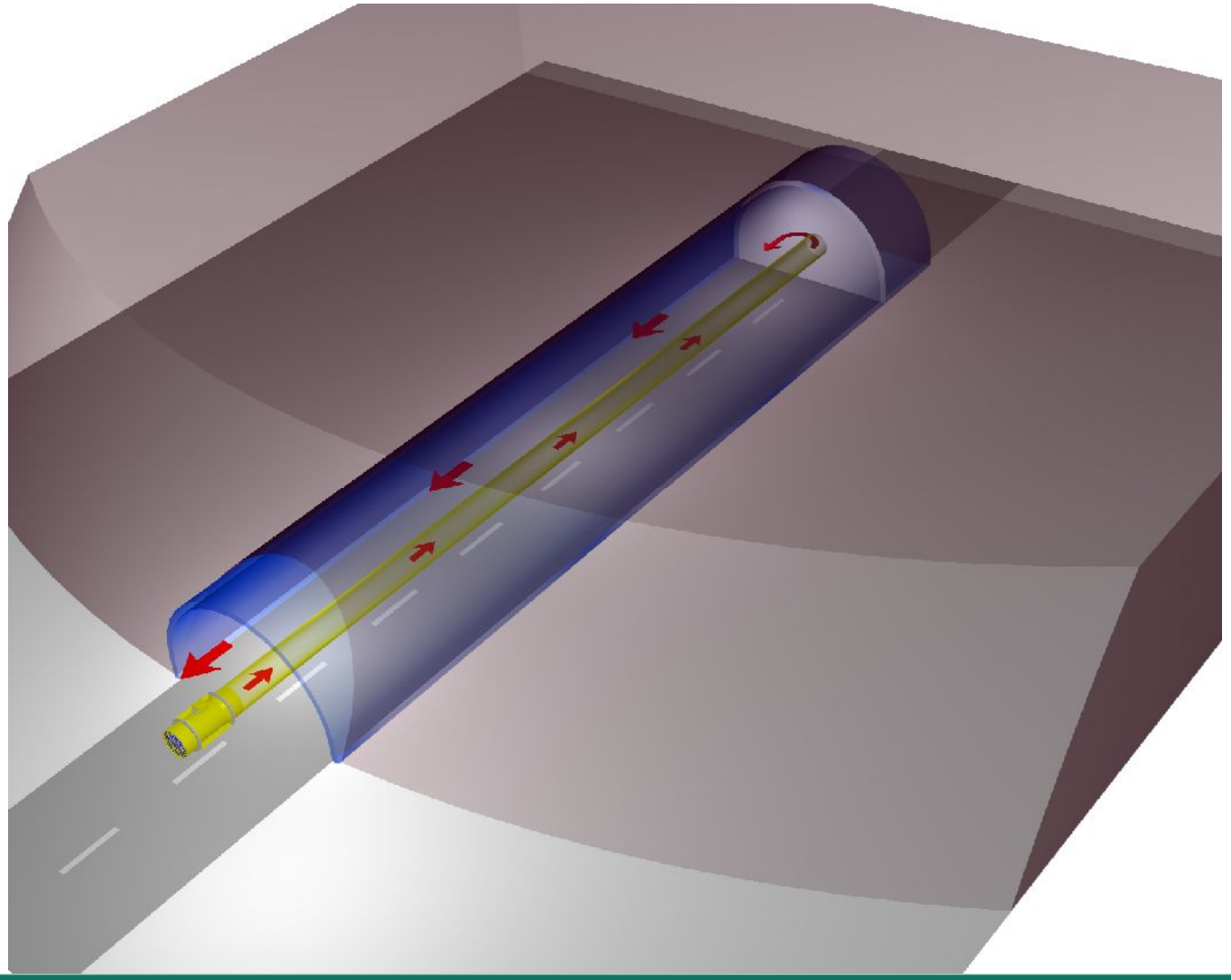
✓ lutniociągów wykonanych z lutni metalowych lub z tworzyw sztucznych:

- ssące (powietrze zasysane),
- tłoczące (świeże powietrze tłoczone do przodka),
- kombinowane (np. ssące z wspierającym systemem tłoczącym, tłoczące z systemem ssącym do odpylacza).

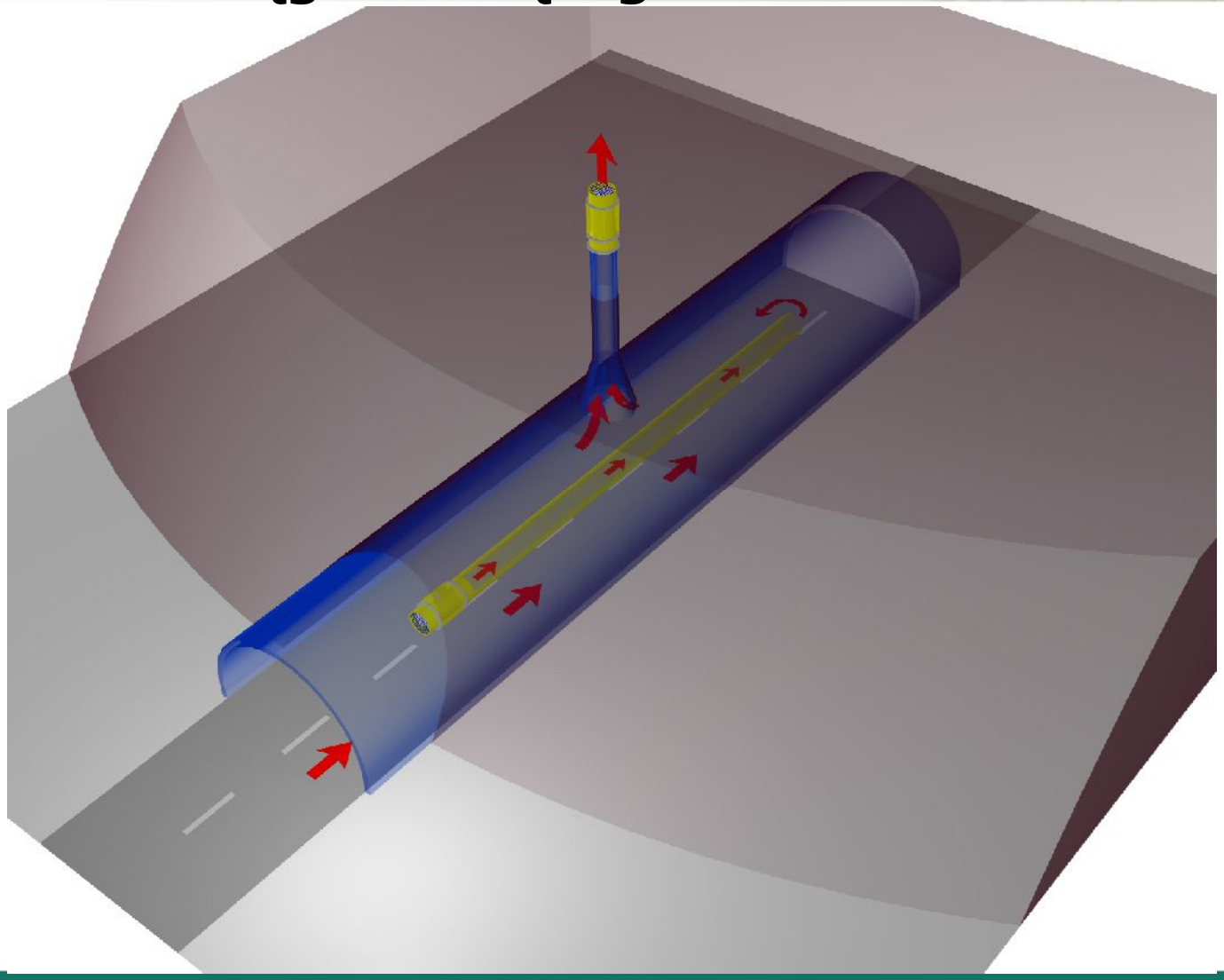
✓ otworów wentylacyjnych (wiertniczych wielkośrednicowych),

✓ lutniociągów i tuneli równoległych.

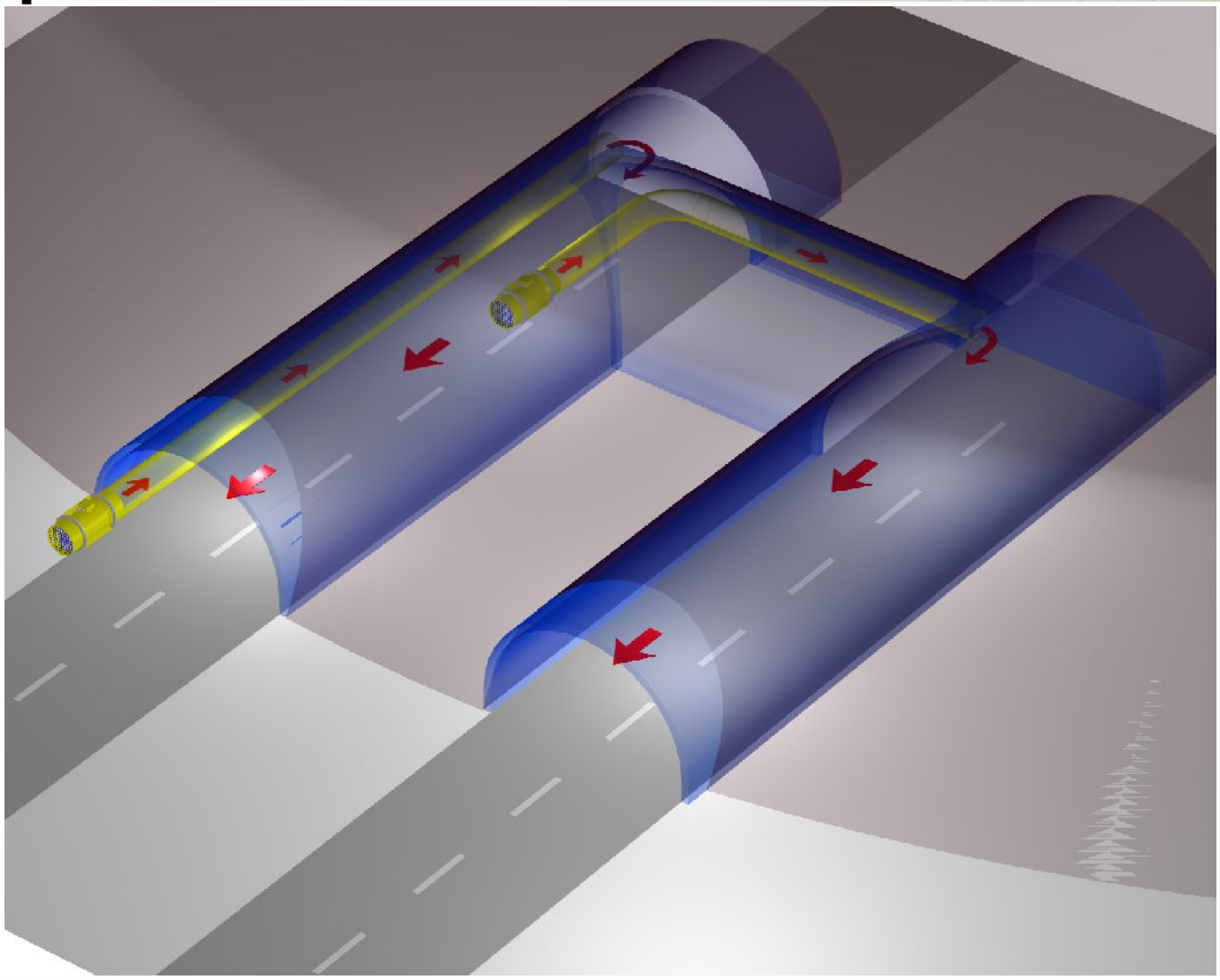
Wentylacja tuneli lutniociągiem – tłoczącym



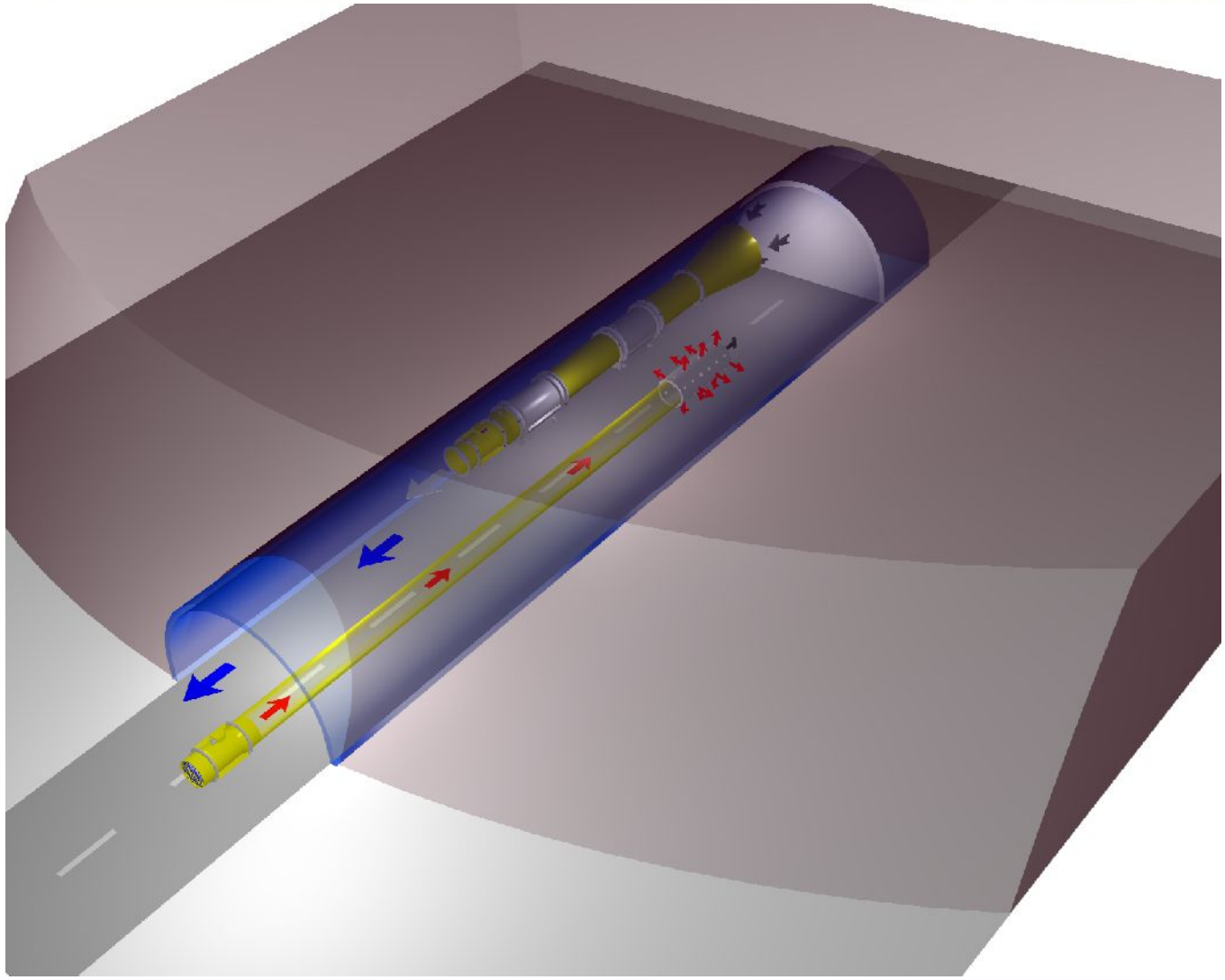
Wentylacja tunelu za pomocą otworu wentylacyjnego (wielkośrednicowego) i lutniociągu tłoczącego



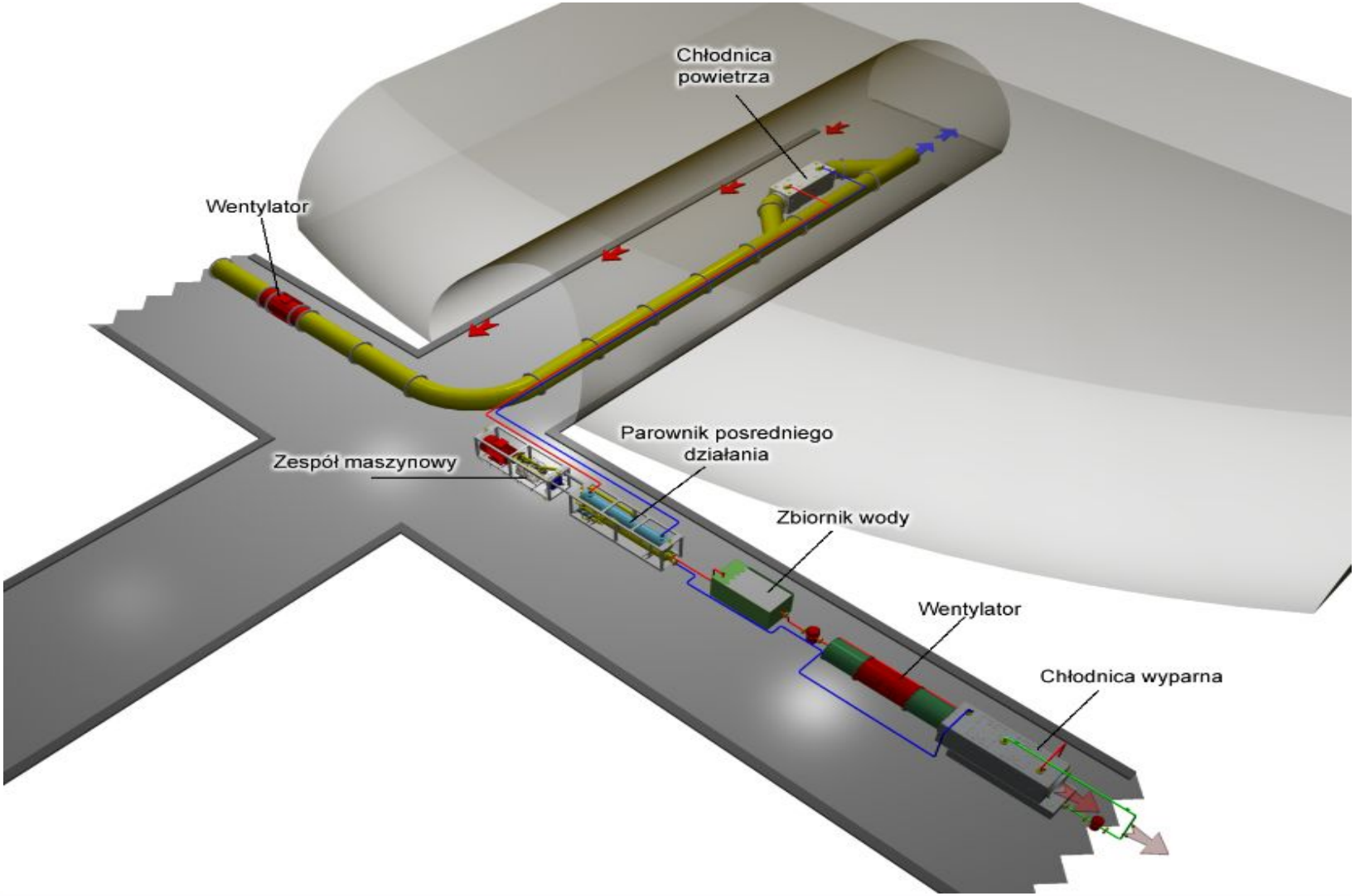
Wentylacja za pomocą tunelu równoległych i przecinek



Schemat wentylacji tunelu drążonego pełnoprzekrojową maszyną drążącą tunel



Przykładowy system chłodzenia powietrza w tunelu urządzeniami o działaniu pośrednim



Źródło: opracowanie własne

Projektowanie wentylacji tuneli w fazie drążenia

Przy projektowaniu wentylacji tunelu będącego w fazie drążenia należy szczegółowo przeanalizować:

- ✓ warunki geologiczne oraz górnicze technologie wykorzystywane podczas budowy tunelu,
- ✓ zagrożenie czynnikami naturalnymi m.in.: dopływy gazów z górotworu (CH_4, CO_2, H_2S), dopływy wody, trzęsienia ziemi, dopływy ciepła ziemskiego, działanie czynników atmosferycznych (wiatr, temperatura),
- ✓ zagrożenia czynnikami technologicznymi, takimi jak np.: gazy odstrzałowe (tlenek węgla, tlenki azotu), gazy emitowane przez silniki spalinowe urządzeń technicznych, zapylenie powietrza spowodowane procesami technologicznymi (urabianie i transport skały),
- ✓ zagrożenie pożarowe,
- ✓ wymagania higieniczne określone w prawie.

Projektowanie wentylacji tuneli w fazie drążenia

Jedna z metod według zakłada, że konieczna objętość strumienia powietrza w przodku tunelu powinna być maksymalną wartością wyznaczoną ze względu na:

1. minimalną prędkość powietrza określoną przepisami bhp,
2. rozrzedzenie zanieczyszczeń pyłowych i gazowych zagrażających bezpieczeństwu, do wielkości dopuszczalnych koncentracji - np. ilość metanu lub inne gazy występującego w górotworze,
3. rozrzedzenie gazów postrzałowych, powstałych po zastosowaniu materiałów wybuchowych do urabiania skał,
4. rozrzedzenie szkodliwych pyłów, do koncentracji wymaganej przepisami prawa,
5. cieplne warunki pracy.

Urządzenia do wentylacji tuneli w fazie drążenia

Instalacja wentylacji tunelu w fazie drążenia składa się z:
- głównych elementów:
wentylatora lub układu wentylatorów lutniowych,
przewodów wentylacyjnych (lutnie),
- wtórnych elementów:
instalacje odpylające,
inne (kolanka, złącza, itp.).

Określanie minimalnej ilości powietrza w tunelu w fazie drążenia

Jedna z metod według zakłada, że konieczna **objętość strumienia powietrza** w przodku tunelu powinna być **maksymalną wartością** wyznaczoną ze względu na:

1. minimalną prędkość powietrza określoną przepisami bhp,
2. rozrzedzenie zanieczyszczeń gazowych zagrażających bezpieczeństwu, do wielkości dopuszczalnych koncentracji - np. ilość metanu lub inne gazy występującego w górotworze,
3. rozrzedzenie gazów postrzałowych, powstałych po zastosowaniu materiałów wybuchowych do urabiania skał,
4. rozrzedzenie szkodliwych pyłów, do koncentracji wymaganej przepisami prawa,
5. cieplne warunki pracy.

Określanie minimalnej ilości powietrza w tunelu w fazie drążenia

Konieczna objętość strumienia powietrza w przodku powinna być maksymalną wartością wyznaczoną ze względu na:

1. Minimalny wydatek powietrza w tunelu $\dot{V}_v$ (m^3/s) ze względu na zapewnienie minimalnej prędkości powietrza wyznacza się na podstawie wzoru:

$$\dot{V}_v = F \cdot v_{min}$$

gdzie:

F – pole przekroju poprzecznego tunelu, m^2,

v_{min} – minimalna prędkość powietrza określona ze względu na opanowanie zagrożeń lub wymagana przez przepisy prawne, m/s.

Określanie minimalnej ilości powietrza w tunelu w fazie drążenia

2. Minimalny wydatek powietrza w tunelu $\dot{V}_r$ (m^3/s) ze względu na rozrzedzenie gazów zagrażających bezpieczeństwu do koncentracji bezpiecznych np. określonych w przepisach prawa na podstawie wzoru:

$$\dot{V}_r = \frac{\dot{V}_g}{C_d} \cdot 100$$

gdzie:

$\dot{V}_g$ – wydatek strumienia gazów szkodliwych dopływających do tunelu, m^3/s,

C_d – Maksymalna dopuszczalna koncentracja gazu szkodliwego, określona przepisami prawnymi, %.

Określanie minimalnej ilości powietrza w tunelu w fazie drążenia

3. Minimalny wydatek powietrza w tunelu $\dot{V}_o$ (m^3/s) ze względu na rozrzedzenie gazów odstrzałowych

Wydatek powietrza może być obliczony w oparciu o wzory określone w Poradniku Górnika t. III [28].

4. Minimalny wydatek powietrza w tunelu V_p (m^3/s) ze względu na rozrzedzenia pyłów szkodliwych do koncentracji wymaganych przepisami prawa na podstawie wzoru:

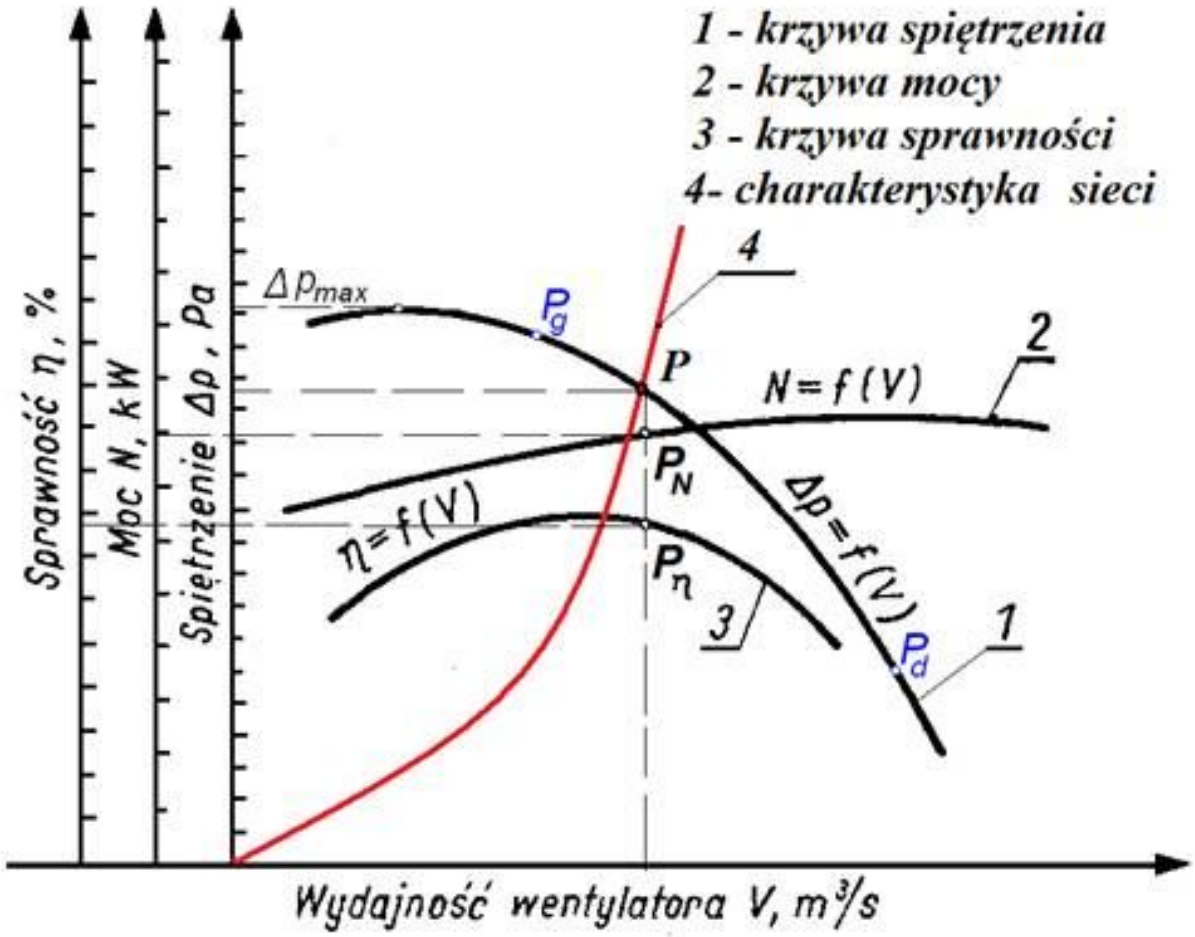
$$V_p = \frac{m_z}{C_d}$$

gdzie:

m_z – masowy wydatek strumienia pyłów szkodliwych tunelu, mg/s,

C_d dopuszczalna koncentracja określona przepisami prawa, mg/m^3.

Dobór wentylatora



Wentylacji w fazie drążenia

Przewietrzanie tuneli w fazie drążenia może być stosowane za pomocą:

✓ lutniociągów wykonanych z lutni metalowych lub z tworzyw sztucznych:

- ssące (powietrze zasysane),
- tłoczące (świeże powietrze tłoczone do przodka),
- kombinowane (np. ssące z wspierającym systemem tłoczącym, tłoczące z systemem ssącym do odpylacza).

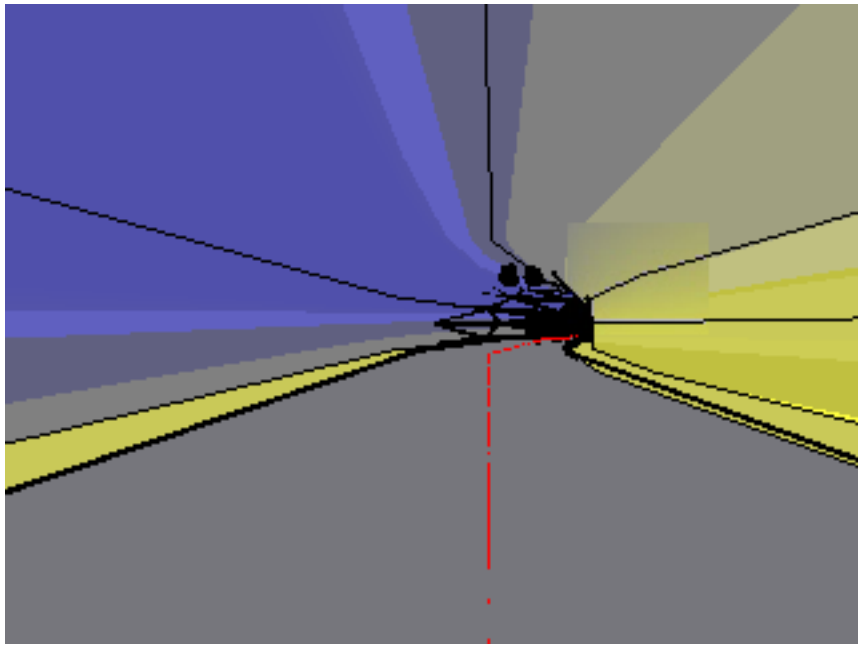
✓ otworów wentylacyjnych (wiertniczych wielkośrednicowych),

✓ lutniociągów i tuneli równoległych.

Przykłady wentylacji tuneli komunikacyjnych w czasie drążenia

Przykłady wentylacji tuneli komunikacyjnych w czasie drążenia

Tunel Emilia w Lalikach



- ✓ długość: 687 m,
- ✓ najdłuższy pozamiejski tunel w Polsce,
- ✓ w ciągu drogi ekspresowej S69,
- ✓ wydrążony metodą górniczą z wykorzystaniem systemu NATM,
- ✓ podczas drążenia zastosowano wentylację tłoczącą,
- ✓ średnica lutniociągu 0,8 m,
- ✓ wentylator osiowy Korfmann typ GAL 7 300/300 umieszczony został w odległości 16 m od portalu pd.,
- ✓ wydatek przepływu powietrza wynosił 9,2 m^3/s.



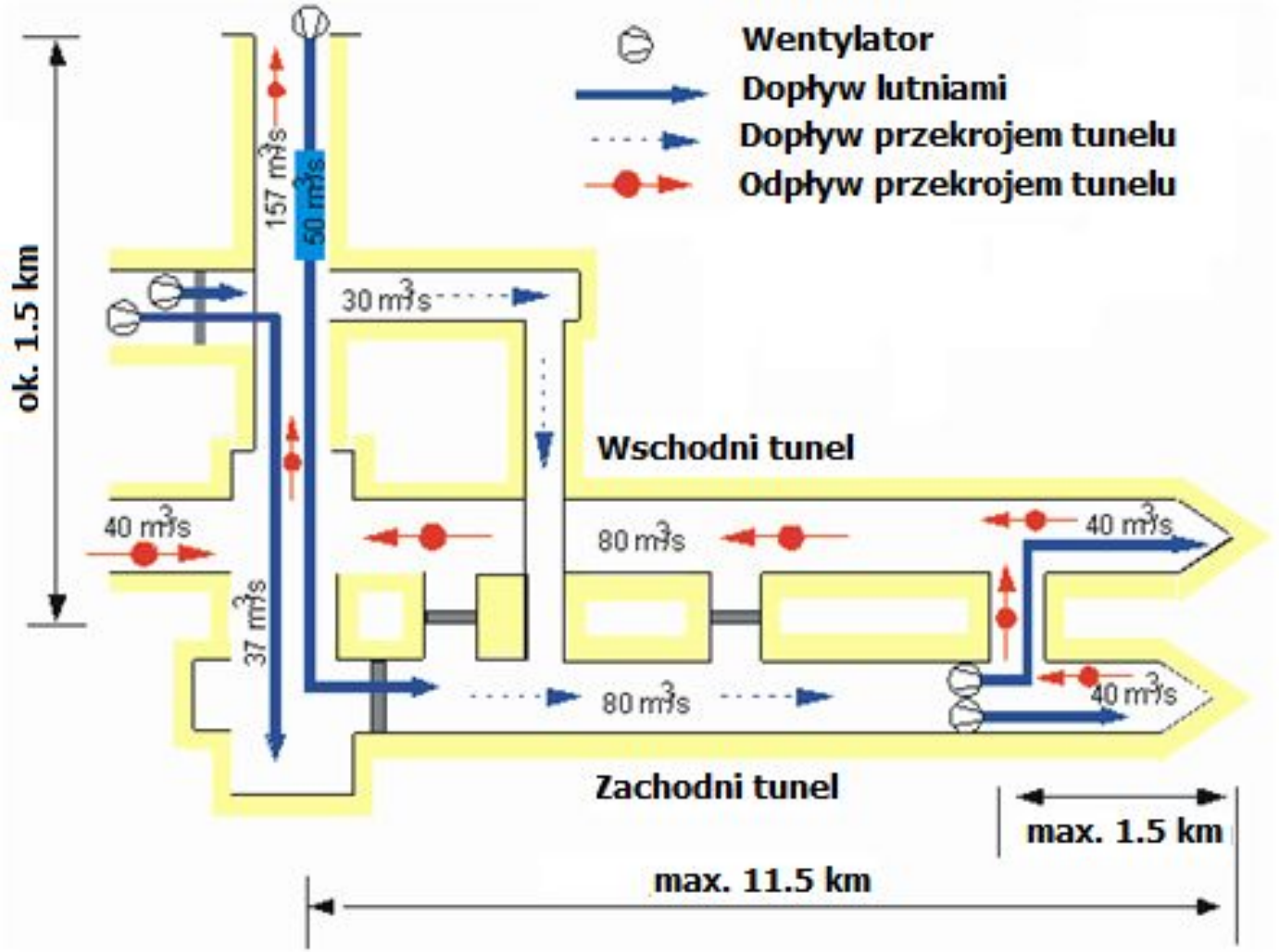


Wentylacja tunelu Milthotz będącego odcinkiem Lötschberg Base Tunnel

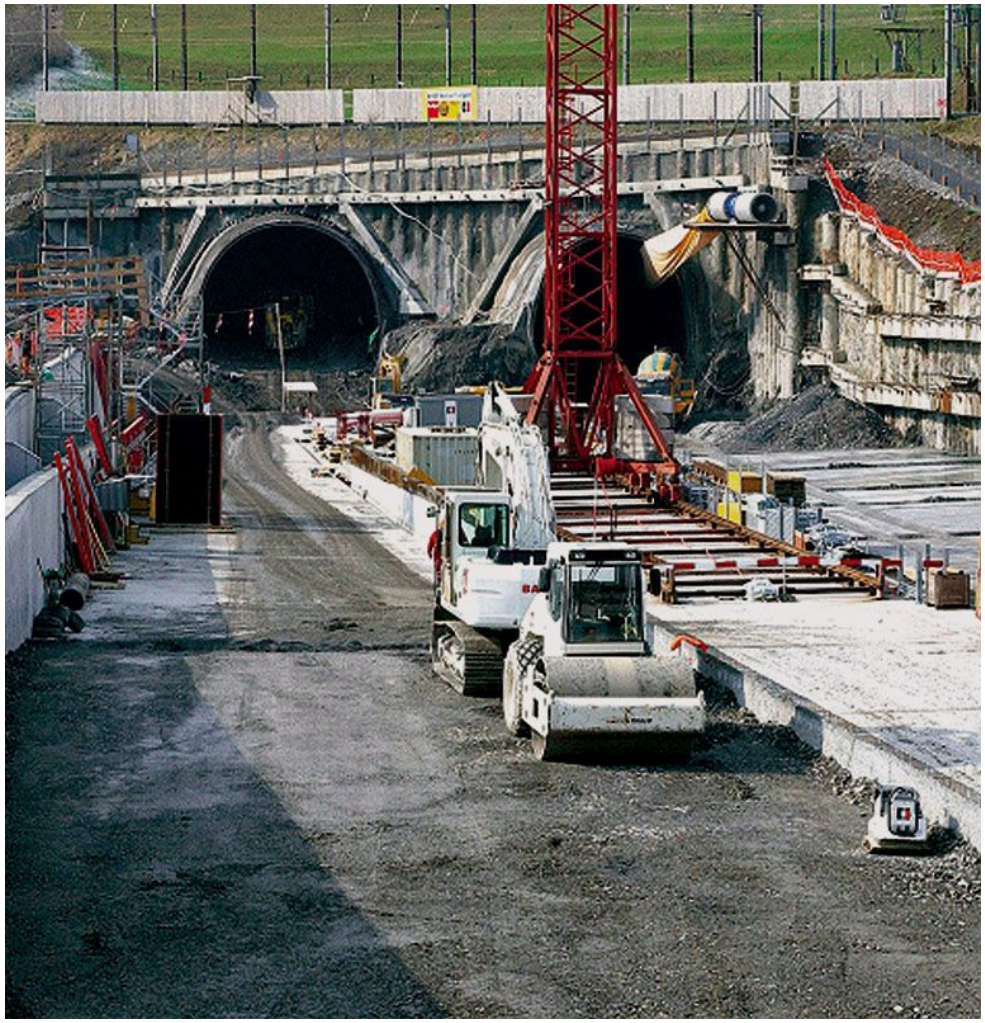


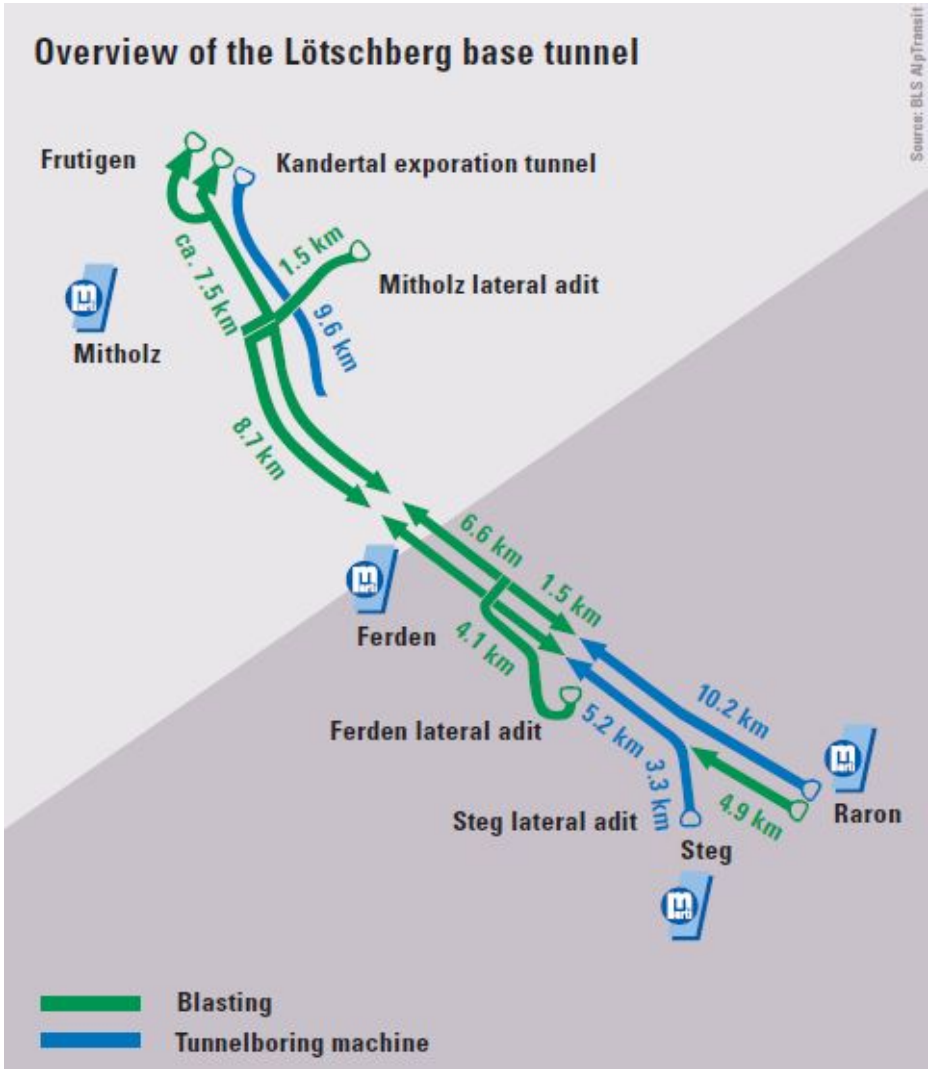
Tunel Lötschberg jest istotnym elementem sieci połączenia kolejowego przez Alpy Szwajcarskie (rys.4.3.). Wykonany został przy wykorzystaniu technologii wiertniczej oraz strzelniczej. Tunel liczący ok. 34 km, drążony przez skały do głębokości 2000 m od powierzchni, stworzył szczególne wymagania dla wentylacji i chłodzenia tunelu w czasie jego budowy. Tunel Mitholz liczący ok. 26 km stanowi najdłuższy odcinek tunelu Lötschberg.

Wentylacja tunelu Milthotz będącego odcinkiem Lötschberg Base Tunnel



Wentylacja tunelu Milthotz będącego odcinkiem Lötschberg Base Tunnel





Analiza przypadku

Założenia:

- tunel drogowy, jednonawowy, w obudowie monolitycznej żelbetowej,
- długość 600m,
- przekrój poprzeczny 80 m^2,
- wykonywany metodami górniczymi za pomocą materiałów wybuchowych,
- roboty strzałowe prowadzone byłyby po wycofaniu załogi na zewnątrz tunelu, dlatego w obliczeniach nie będzie uwzględniana emisja tlenu węgla i tlenów azotu podczas wykonywania robót
- z rozpoznania geologicznego wynika, że do tunelu w czasie jego drążenia nie będzie następował dopływ innych gazów złożowych jak: dwutlenek węgla, tlenek węgla, azot i siarkowodór, radon oraz metan.

Analiza przypadku

Wyznaczono minimalny wydatek powietrza ze względu na:

1. minimalną prędkość powietrza:

$$\dot{V} = A \cdot w_{min} = 0{,}15 \ \frac{m}{s} \cdot 80 \ \mathrm{m}^2 = 12 \ [\mathrm{m}^3/\mathrm{s}],$$

2. jednokrotną wymianę powietrza w ciągu godziny:

$$\dot{V} = n \cdot S = \frac{48000 \ m^3}{60 \cdot 60 \ s} = 13{,}3 \ [\mathrm{m}^3/\mathrm{s}],$$

Gdzie: A – przekrój poprzeczny m^2,
w_{min} – minimalna prędkość powietrza m/s,
n – ilość wymian powietrza w ciągu godziny,
S - pole przestrzeni tunelu m^3.

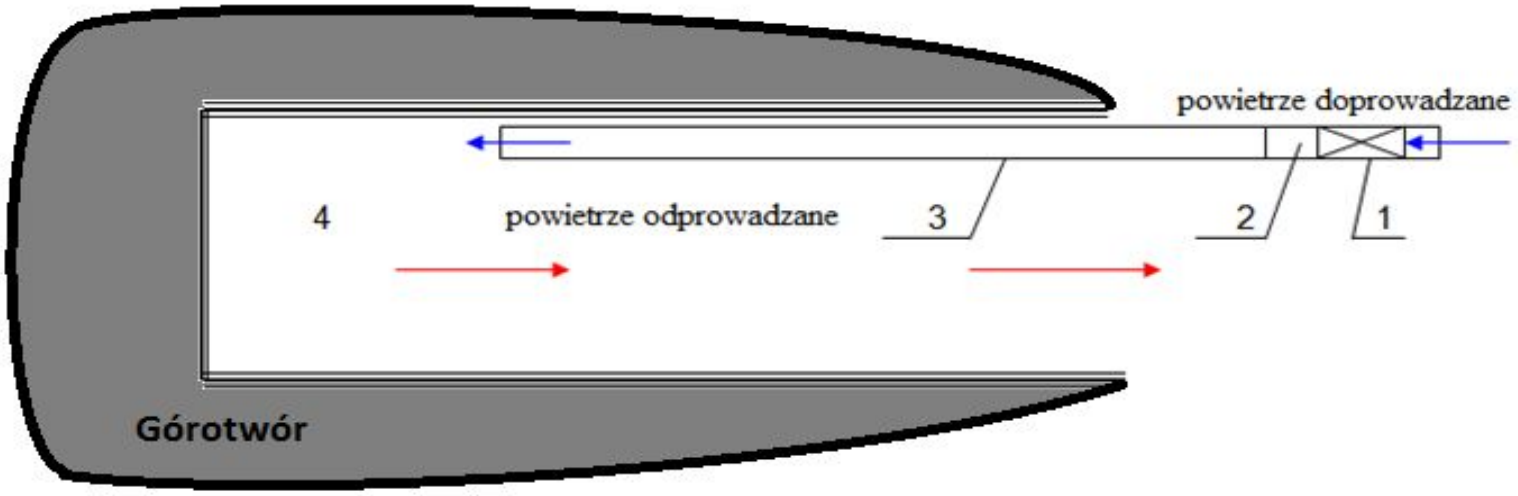
Przyjęto najwyższą wartość wydatku powietrza dla przodku drążonego tunelu: V =13,3 [m^3/s].

Analiza przypadku

Parametry wentylacji:

rodzaj wentylacji	tłocząca
rodzaj lutni	elastyczna
średnica lutniociągu	0,8 m
współczynnik nieszczelności	0,00015 [$um^3/N^{1/2}\cdot s$]
jednostkowy opór lutniociągu	0,039 [$Ns^2/(um^3\cdot m^6)$]
długość lutniociągu	600 m
sprawność lutniociągu	$\eta_l = 0{,}86$
opór lutniociągu	$R = 24.2\ kg\cdot m^{-7}$
spiętrzenie wentylatora	4280,74 Pa
typ wentylatora	WLE-1000B

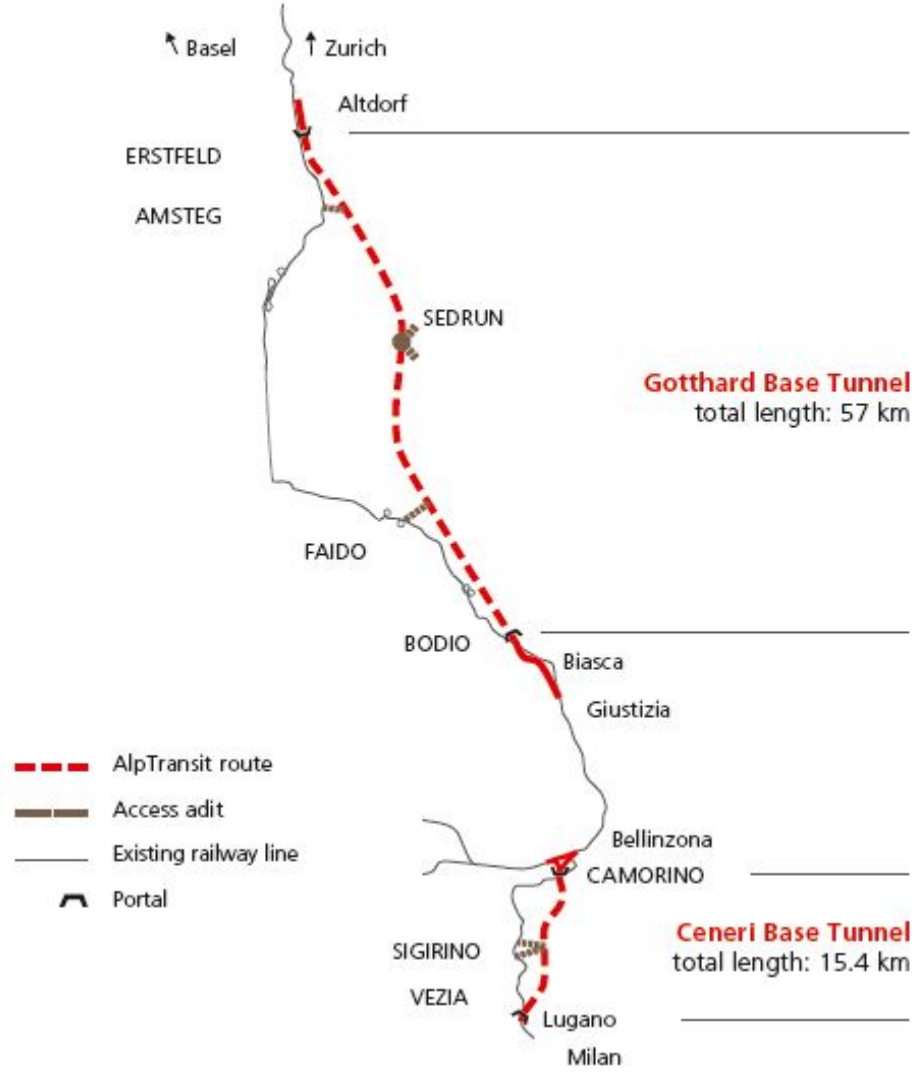
Tunel Emilia w Lalikach



Parametr	Wielkość
całkowity opór sieci lutniociągu r	36,33 kg/m^7
całkowita strata ciśnienia hc	3075 Pa
maksymalny czas potrzebny do przewietrzenia czoła wyrobiska t	30 min
maksymalna długość lutniociągu	970 m
spiętrzenie wentylatora	3250 Pa
wydatek przepływu powietrza	9,2 m^3/s
średnica lutniociągu	800 m



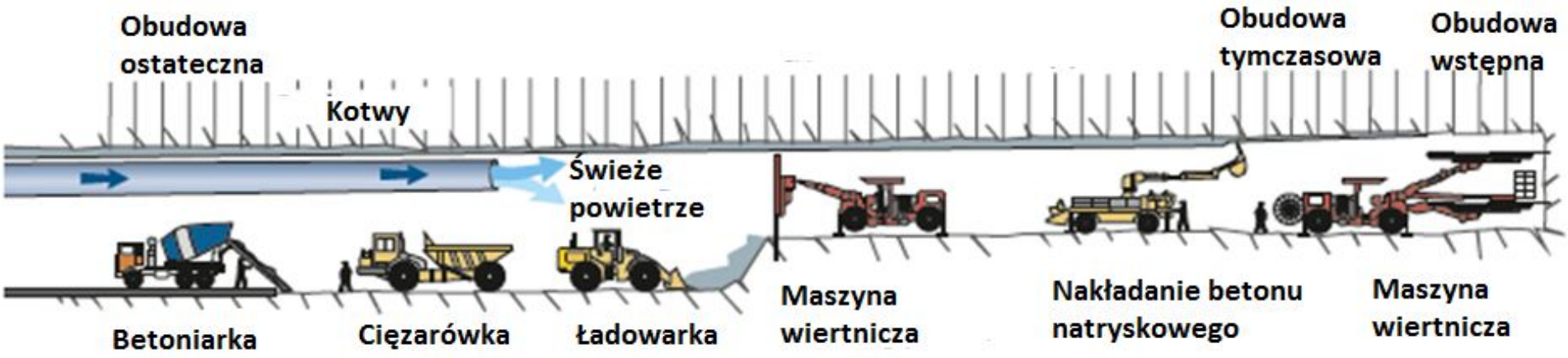
Gotthard Base Tunel



Gotthard Base Tunel

Parametry tunelu		Kalendarz prac przy budowie tunelu	
Liczba pojedynczych tuneli	2	- rozpoczęcie prac - wiercenia badawcze: - prace przygotowawcze - drążenie mechaniczne: - zakończenie drążenia - planowane zakończenie prac montażowych:	1993 rok 1996 rok 2003 rok 2012 rok, 2016 rok.
Długość tunelu zachodniego:	56.978 km	Objętość urobionych skał:	28,2 mln ton (13,3 mln m3 (5 objętości piramidy w Gizie)
Długość tunelu wschodniego:	57.091 km	Całkowity koszt budowy tunelu:	10.1 mld USD
Średnia odległość między tunelami	40 m	Projektowana przepustowość tunelu:	200–250 pociągów na dobę
Całkowita długość wszystkich wyrobisk podziemnych stanowiących tunel:	151.84 km	Długość tuneli wydrążona za pomocą tarczy TBM:	około 66,3 km (43,7 %)
Średnica każdego pojedynczego tunelu:	8.83–9.58 m	Długość tuneli wydrążona za pomocą robót strzałowych:	około 90 km dla dwóch tuneli
Odległość pomiędzy tunelami łączącymi tunele główne:	ok. 325 m	Maksymalna temperatura skał in situ: około:	50° C
Liczba tuneli łączących:	176	Maksymalna temperatura w miejscu pracy ludzi	28° C
Maksymalna grubość skał nadległych (głębokość tunelu względem powierzchni):	2,500 m	Liczba zatrudnionych przy budowie pracowników:	2'600 osób

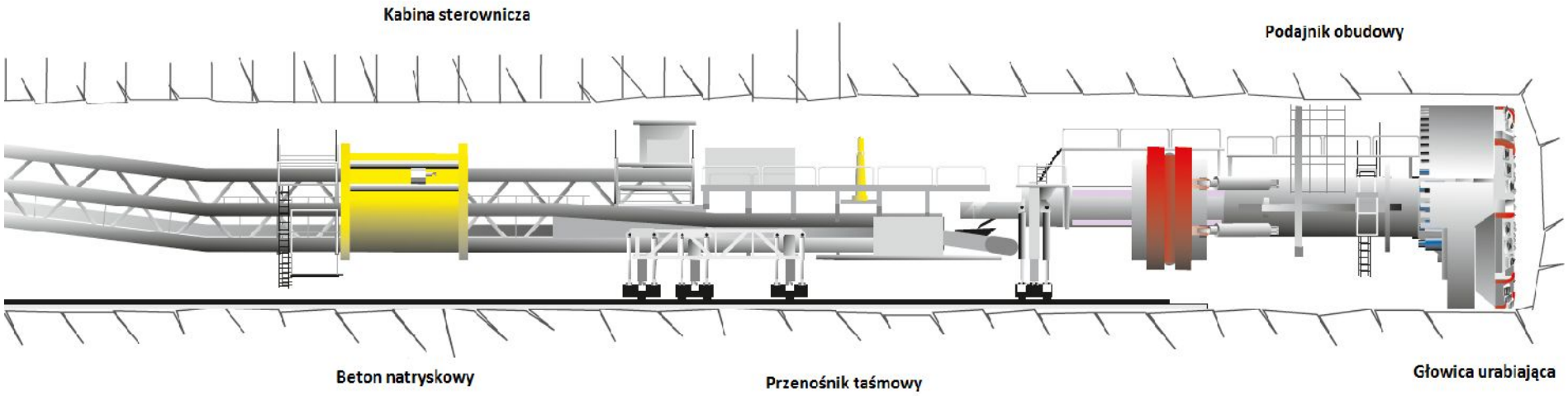
Gotthard Base Tunel



Rysunek. Schemat prac drążeniowych wykonywanych technologią górniczą w tunelu Gotthard Base Tunnel.

Źródło: www.alptransit.ch/fileadmin/dateien/shop/broschueren/atg_broschuere_e_2012_lq.pdf

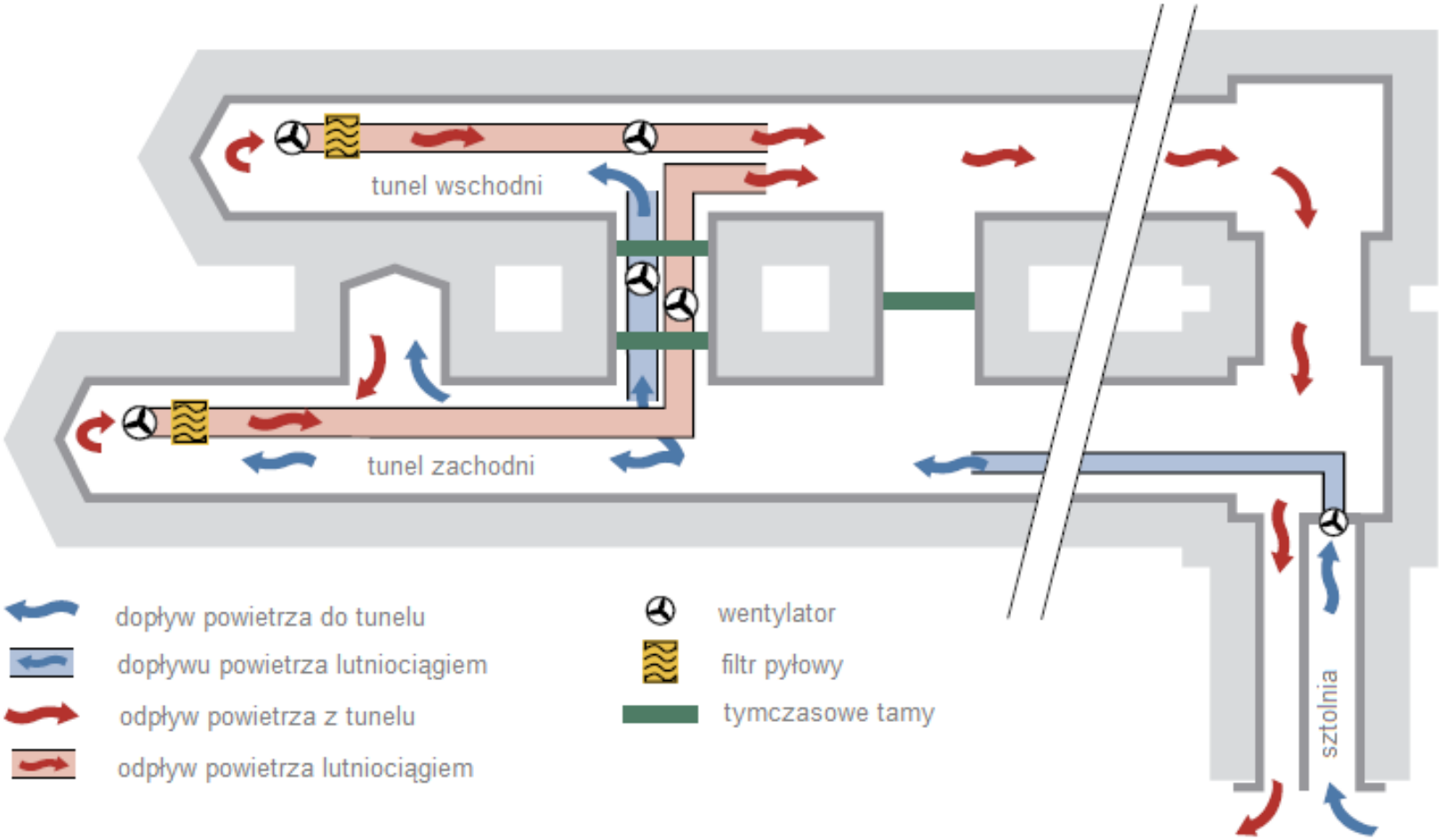
Gotthard Base Tunel



Rysunek. Schemat maszyny TBM wykorzystanej do budowy tunelu Gotthard Base Tunnel metodą tarczową.

Źródło: www.alptransit.ch/fileadmin/dateien/shop/broschueren/atg_broschuere_e_2012_lq.pdf

Gotthard Base Tunel



Rysunek. Wentylacja kombinowana tunelu Gotthard Base Tunnel.

Źródło: www.forumostwest.ch/medienforum/downloads/Gotthard.Base.Tunnel/The_new_Gotthard_rail_link.pdf

AGH

Dziękuję za uwagę